

УДК 629.78

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВЫХОДНОГО ПРОДУКТА TerraSAR-X В ФОРМАТ HDF5

В.М. ЧЕРТКОВ, канд. техн. наук, доц. Р.П. БОГУШ,

(Полоцкий государственный университет);

канд. техн. наук Н.М. НАУМОВИЧ

(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск)

Рассмотрены особенности преобразования основных и вспомогательных данных спутника TerraSAR-X в формат представления выходных данных HDF5 спутника COSMO-SkyMed. Синтезирован и описан алгоритм преобразования с использованием программного обеспечения MATLAB.

Ключевые слова: радиолокационное изображение, формат данных HDF5, TerraSAR-X, COSMO-SkyMed.

Введение. Данные, полученные от космического спутника дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), на наземной станции проходят несколько этапов обработки [1], на которых, как правило, формируются метаданные, описывающие результаты обработки и состояние аппаратуры во время работы и зачастую требующиеся для высоких уровней обработки радиолокационных изображений (РЛИ) поверхности Земли. Среди существующих спутников радиолокационного зондирования Земли TerraSAR-X и COSMO-SkyMed являются одними из наиболее востребованных и позволяют получать радиолокационные изображения (РЛИ) с высоким пространственным разрешением до 1 м [2, 3]. Каждый из них использует собственный формат представления окончательного выходного продукта. Целью данного исследования является оценка возможности представления радиолокационных данных и метаданных в универсальном формате, который позволил бы обеспечить удобство работы с ними, изменяя и дополняя при необходимости. Согласно поставленной цели, наиболее подходящим является современный формат HDF5, используемый системой COSMO-SkyMed. Формат имеет простую структурную организацию, позволяет совместно хранить основные и вспомогательные данные и поддерживается практически всеми системами автоматизированной обработки радиолокационных данных [3]. Несмотря на многообразие форматов представления радиолокационных данных, в них всегда можно выделить с помощью аппаратуры радиолокационного синтеза апертуры (РСА) общие компоненты: радиолокационные данные (RAW, РЛИ), информацию о следовании по орбите Земли, временные метки начала и конца обзора, параметры сцены обзора, а также технические характеристики самого спутника и аппаратуры РСА, которые и обеспечивают возможность преобразования радиолокационных данных из одного формата представления в другой.

Анализ форматов систем TerraSAR-X и COSMO-SkyMed. Для оценки возможности преобразования форматов представления радиолокационных данных сравним структурную организацию метаданных для спутников TerraSAR-X [4] и COSMO-SkyMed [3]. Результаты анализа структур выходных продуктов рассматриваемых спутниковых систем ДЗЗ представлены в таблице.

Таблица. – Сопоставление структурной организации форматов представления метаданных спутников по их тематическому описанию

Основные разделы метаданных спутника TerraSAR-X	Основные разделы метаданных COSMO-SkyMed
1	2
<i>generalHeader</i> – содержит наименование наземной станции, время генерации продукта, версию. Содержит 13 атрибутов метаданных, 4 из них совпадают	<i>Acquisition</i> – описывает параметры режима получения данных, передачи и хранения радиолокационной информации. Содержит 9 атрибутов метаданных, 4 из них совпадают
<i>productComponents</i> – описывает детальную информацию о месторасположении всех файлов, их смысловое содержание и размеры тех из них, которые включены в выходной продукт. Содержит 54 атрибута метаданных, 0 из них совпадают	
<i>calibration</i> – описывает основание для применения радиометрических и других поправок над данными. Содержит 54 атрибута метаданных, 36 из них совпадают	<i>calibration</i> – содержит параметры радиометрических поправок полученных радиолокационных данных, калибровочные коэффициенты. Содержит 19 атрибутов метаданных, 5 из них совпадают

Окончание таблицы

1	2
<i>productInfo</i> – представляет базовую информацию о продукте, такую как параметры режима съемки, формата хранения РЛИ. Содержит 121 атрибут метаданных, 36 из них совпадают	<i>formatting</i> – описывает параметры, связанные с форматом хранения радиолокационных данных. Содержит 13 атрибутов метаданных, 5 из них совпадают. <i>projection</i> – содержит параметры, описывающие поверхность, на которую проецируются радиолокационные данные. Содержит 8 атрибутов метаданных, 3 из них совпадают. <i>Scene</i> – описывает параметры, определяющие место съемки. Содержит 14 атрибутов метаданных, 13 из них совпадают
<i>setup</i> – описывает конфигурацию режима съемки, режима обработки. Содержит 105 атрибутов, 9 из них совпадают. <i>productQuality</i> – описывает качество изображения и данных, пределы валидных данных. Содержит 44 атрибута метаданных, 7 из них совпадают	<i>identification</i> – хранит данные, конкретизирующие основные параметры съемки: дату, место, спутник. Содержит 10 атрибутов метаданных, 8 из них совпадают. <i>PCD</i> – содержит параметры необработанных радиолокационных RAW-данных (уровень 0). Содержит 29 атрибутов метаданных, 4 из них совпадают
<i>instrument</i> – представляет параметры SAR-сенсора во время получения данных RAW. Содержит 65 атрибутов метаданных, 5 из них совпадают	<i>instrument</i> – хранит параметры радиолокационного сенсора во время получения необработанных данных. Содержит 39 атрибутов метаданных, 12 из них совпадают
<i>platform</i> – хранит векторы состояния и геометрической компоновки платформы, используемой для обработки. Содержит 265 атрибутов метаданных, 5 из них совпадают	<i>platform</i> – хранит информацию о положении антенны относительно спутниковой системы, основной сегмент обзора, описывающий файл орбит через сегменты векторов состояний, привязанных к географическим координатам и пикселям радиолокационного изображения. Содержит 29 атрибутов метаданных, 4 из них совпадают
<i>processing</i> – включает параметры обработчика и получаемых во время съемки данных, тип применяемых геометрических координат, результаты анализа и коррекции, геометрические параметры фокусировки данных; также представляются параметры оценки и вычисления доплеровского центроида и флаги, указывающие, какие этапы обработки были выполнены. Содержит 385 атрибутов метаданных, 15 из них явно совпадают. (Раздел содержит доплеровские коэффициенты в виде полиномов, которые нужно преобразовывать)	<i>doppler</i> – хранит параметры, связанные с доплеровской проекцией. Содержит 8 атрибутов метаданных из них 5 совпадают. <i>processing</i> – описывает параметры данных, получаемых во время съемки, и параметры их обработки, тип применяемых геометрических координат, результаты анализа и коррекции, геометрические параметры фокусировки данных, параметры оценки и вычисления доплеровского центроида, флаги, указывающие, какие этапы обработки были выполнены. Содержит 32 атрибута метаданных, 13 из них совпадают
<i>productSpecific</i> – содержит информацию о геокодировании, программном обеспечении и его версии, режиме съемки. Содержит 11 атрибутов метаданных, 4 из них совпадают	<i>specification</i> – описывает основную спецификацию выходного продукта уровня 1A, геометрическое разрешение по азимуту и дальности. Содержит 11 атрибутов метаданных, 2 из них совпадают
<i>noise</i> – представляет коэффициенты многочленов, характеризующих шум в каждом канале изображения. Содержит 118 атрибутов метаданных, 5 из них совпадают	<i>thresholds</i> – хранит пороговые величины для установки флагов качества обработки радиолокационных данных до уровня 1A. Содержит 17 атрибутов метаданных, 0 из них совпадают

В результате сопоставления структур метаданных двух рассматриваемых спутников и анализа всех описанных разделов выявлены следующие основные особенности:

- раздел *productComponents* описывает файлы, их размеры и типы, входящие в структуру выходного продукта TerraSAR-X. Поскольку формат HDF5 состоит из одного файла, совпадений атрибутов не наблюдается;
- алгоритмы оценки и форматы представления доплеровских коэффициентов разнятся, хотя в обоих вариантах есть метки времени и значения коэффициентов полиномов заданной степени. Параметры оценки доплеровских полиномов в продукте TerraSAR-X описаны более подробно с указанием опорных точек в заданной полосе по дальности;
- граничные опорные точки привязки РЛИ к географическим координатам сцены съемки выбраны как угловые точки РЛИ, но формат представления о них информации разнится;
- параметры и коэффициенты компенсации угла падения на эталонную поверхность, эталонный угол падения, эталонный наклон по дальности, которые учитываются при радиометрической коррекции РЛИ, не соответствуют TerraSAR-X;

- описание используемых «сырых» (RAW) данных различаются. В продукте TerraSAR-X указываются: алгоритм сжатия и его фактор, коэффициенты усиления АЦП, параметры окна выборки радиолокационных данных. Для продукта COSMO-SkyMed указываются: стандартное отклонение изображения отдельно для каждого канала данных, процент перенасыщенных пикселей, дисбаланс значений усиления I и Q канала для данных RAW, разность фаз между значениями каналов I и Q;

- коэффициенты усиления диаграммы направленности и их поправочные значения, зависящие от угла облучения, не совпадают как по количеству, так и по значению, и относятся к особенностям самого космического аппарата и его системы SAR;

- оценка доплеровских полиномов в продукте COSMO-SkyMed привязана к временному интервалу для начальных и конечных столбцов и строк РЛИ и указывается в секундах, а в продукте TerraSAR-X помимо временных отсчетов указываются еще и координаты опорных точек, что обуславливает большее их количество;

- описания сцены съемки практически идентичны в рассматриваемых форматах метаданных двух спутниковых систем;

- формат представления РЛИ в TerraSAR-X учитывает компенсацию перекоса и геометрических искажений, обеспечивая тем самым улучшение качества итогового РЛИ;

- алгоритмы вычисления доплеровских смещений, устранение радиометрических искажений могут различаться, что непосредственно отражается на наборе метаданных и их значений.

Выявленные особенности позволяют сделать вывод о необходимости разработки алгоритма преобразования метаданных для соответствия спецификации формата HDF5, учитывающего особенности математической обработки и алгоритмов определения доплеровских коэффициентов, необходимости преобразования влияние шума и его коэффициентов и т.д.

Особенности преобразования радиолокационного изображения COSAR в HDF5. Выходной продукт COSMO-SkyMed содержит набор данных, описывающих РЛИ, которые соответствуют типу данных int16. Структура данных обеспечивают раздельное хранение синфазных и квадратурных составляющих РЛИ, объединенных в трехмерный массив, который имеет размерность $2 \times Width \times Height$. Для корректного представления РЛИ согласно спецификации HDF5 необходимо наличие следующих атрибутов:

- *Samples per Pixel* – в соответствии со спецификацией HDF5 определяет два канала данных для хранения РЛИ;

- *Sample Format* – определяет тип данных;

- *Bits per Sample* – определяет количество бит для кодирования одного пикселя.

Выходной продукт TerraSAR-X представляет РЛИ в виде отдельного файла формата COSAR с расширением *.cos, где помимо основных хранятся вспомогательные данные об РЛИ, которые определяют достоверность граничных данных представленного РЛИ. Основные данные об РЛИ формата COSAR представляются 32-битными числами в комплексном виде: 16 бит для мнимой части и 16 бит для действительной части. Вспомогательные данные хранятся в виде 32-битного целого числа. Порядок следования байт в файле обратный, т.е. старший байт представляется первым [4]. Следует упомянуть, что при преобразовании РЛИ в формат HDF5 потребуется дополнительная обработка, устанавливающая естественный порядок следования отдельных битов РЛИ.

Изображение быстрого просмотра QLK в выходном продукте TerraSAR представлено в виде отдельного файла с расширением *.tif, где изображение кодируется в градациях серого и имеет тип данных uint24 для каждого пикселя. Изображения QLK являются масштабированными копиями РЛИ до 2000 пикселей по высоте. В случае отображения нескольких поляризационных слоев изображение представляется 24-битным цветным изображением формата TIFF, а каждый слой цвета соответствует определенному каналу поляризации. Для выполнения требований спецификации COSMO-SkyMed изображение QLK выходного продукта TerraSAR-X должно быть приведено в соответствие с типом данных uint8.

Модель преобразования радиолокационных и метаданных из формата TerraSAR-X в формат HDF5. Выходной продукт спутника TerraSAR-X представляет собой архив (*.tar), в котором размещены каталоги и файлы [4]. Метаданные хранятся в отдельном XML-файле, который также включает информацию обо всех каталогах и файлах выходного продукта. Особенностью выходного продукта спутника COSMO-SkyMed является представление РЛИ и метаданных в одном файле формата HDF5. При этом упрощается структура файла и выделяются только два главных типа объекта:

- наборы данных, которые являются многомерными множествами гомогенного типа;

- группы с контейнерной структурой, которые могут содержать наборы данных и другие группы.

Метаданные хранятся в определенном пользователями формате [3]:

- наименование группы признаков,

- название признака,

- набор данных, относящихся к признаку.

Для преобразования выходного продукта TerraSAR-X в формат представления радиолокационных данных HDF5 в приложении MATLAB была разработана соответствующая модель (рисунок 1). Поскольку формат HDF5 используется для описания выходного продукта спутников COSMO-SkyMed, то представление радиолокационных данных продукта TerraSAR-X должно быть реализовано с учетом спецификации этого формата. Соответственно, для преобразования РЛИ из формата COSAR в формат HDF5 необходима его реструктуризация. Для изображения быстрого просмотра QLK потребуется дополнительная информация об особенностях его представления.

Для обеспечения совместимости и соответствия форматов данных, а также с целью дальнейшей обработки в специализированном ПО, из основного файла метаданных (*.xml) TerraSAR следует выделить базовые метаданные согласно спецификации COSMO-SkyMed.

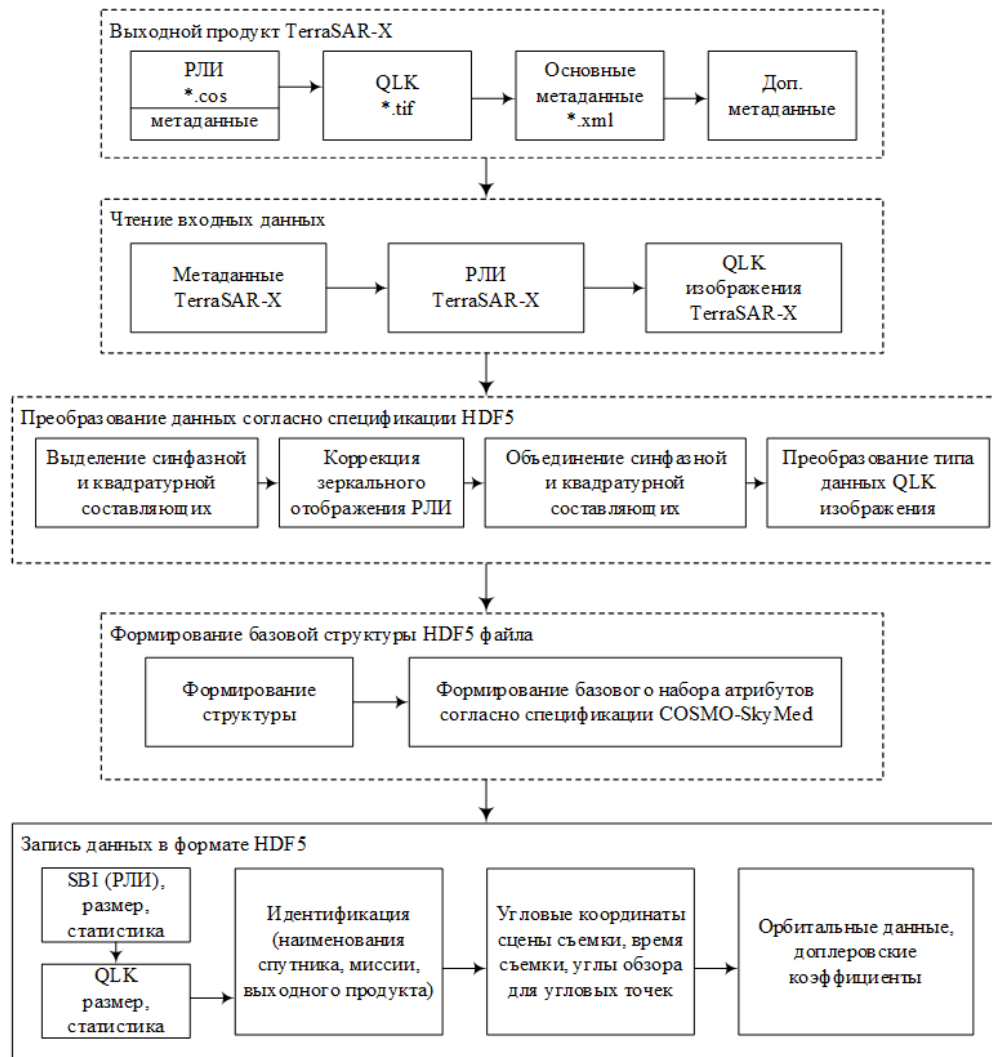


Рисунок 1. – Модель преобразования радиолокационных данных и метаданных из формата TerraSAR-X в формат HDF5

Представление радиолокационных данных в формате HDF5. Исследовав особенности хранения РЛИ, базовых и дополнительных метаданных спутниковых систем TerraSAR-X и COSMO-SkyMed, рассмотрим последовательность действий по преобразованию выходного продукта TerraSAR-X в формат HDF5 (см. рисунок 1).

Блок чтения входных данных. Данный блок обеспечивает импорт из файла формата COSAR радиолокационного изображения, изображения быстрого просмотра и основных метаданных выходного продукта TerraSAR-X.

Открытие и чтение файла COSAR выполняется по алгоритму, представленному в листинге 1. При этом указывается имя файла и определяется его размер. Согласно спецификации COSAR, в самом начале файла содержится заголовок, состоящий из 15 значений типа uint32. Эти значения описывают размеры

РЛИ, версию продукта и количество каналов съемки. После получения информации о размере РЛИ производится выгрузка его данных. При каждом считывании значения в его двоичном представлении посредством операции *swapbytes()* производится перестановка битов, т.к. спецификация требует их обратного порядка следования.

Листинг 1. Алгоритм открытия и чтения файла COSAR

```
1. fname = 'd:\workspace\DZZ\TSX1_SAR\IMAGEDATA\IMAGE_VV_SRA_strip_004.cos';
2. fdata = dir(fname);
3. fsize = fdata.bytes;
4. fid = fopen(fname, 'r', 'T');
5. hsize = 15;
6. fr=fread(fid, [1 hsize], '*uint32');
7. header = swapbytes(fr);
8. frewind(fid);
9. width = header(3) + 2;
10. rtnb = header(6);
11. height = header(7);
12. ver = header(9);
13. unread = height;
14. [header, msg] = fread(fid, [width 4], '*uint32');
15. header = swapbytes(header);
16. as = header(4,1);
17. samples = fread(fid, [width as], '*uint32');
18. samples = samples(3:width, :);
19. samples = samples(:); % needed for typecast
20. samples = swapbytes(typecast(samples, 'int16'));
22. samples = reshape(samples, 2, w, as);
```

Основной файл метаданных представлен XML-файлом и содержит вспомогательные данные и информацию обо всех каталогах и файлах выходного продукта. Для выгрузки его значений в приложение MATLAB используется стандартная функция *xml2struct()* конвертирования структуры XML-файла в сложную структуру данных MATLAB.

Преобразование данных согласно спецификации *HDF5* включает реструктуризацию основного РЛИ и преобразование типа данных изображения QLK.

Отличительной особенностью формата COSAR при хранении РЛИ является обратный порядок следования бит, который при корректировке приводит к зеркальному отображению РЛИ относительно оси данных азимута (столбцов РЛИ). Коррекция зеркальности обеспечивается разделением трехмерной таблицы на две двухмерные для синфазных и квадратурных составляющих. Для каждого из сформированных массивов выполняется перестановка столбцов, с помощью функции *swap(samples, w)*, где в качестве аргументов указываются массив и количество столбцов в этом массиве. Последней операцией является обратное формирование трехмерного массива. Код программы реструктуризации РЛИ представлен в листинге 2.

Листинг 2. – Программный код реструктуризации РЛИ

```
samples = reshape(samples, 2, w, as);
samples1 = samples(1,:);
samples1 = samples1(:);
samples1 = reshape(samples1, w, as);
samples1 = samples1';
swap(samples1, w);
samples2 = samples(2,:);
samples2 = samples2(:);
samples2 = reshape(samples2, w, as);
samples2 = samples2';
swap(samples2, w);
samps(1,:,:) = samples1(:,:);
samps(2,:,:) = samples2(:,:);
```

В результате импорта изображения QLK формируется трехмерный массив данных, описывающий цветное изображение. Поскольку QLK-изображение представляется в градациях серого, то все каналные цвета будут содержать одинаковые значения, что позволяет использовать только один цветовой канал.

Создание файла *HDF5* выполняется функцией *H5G.create()* с учетом вложенных групп и подгрупп.

Запись РЛИ и QLK данных. Запись данных РЛИ в соответствии со спецификацией *HDF5* в подгруппу SBI осуществляется с помощью функции *h5write()*. Аналогичным образом записываются данные изображения QLK, где в качестве аргументов функции *h5write()* выступают наименование подгруппы для хранения QLK, его размер и используемый для хранения тип данных.

Запись метаданных. Эта операция выполняется в три этапа. Первый этап обеспечивает запись обобщенной информации формируемого выходного продукта, а именно:

- наименования миссии (Mission ID);
- типа выходного продукта (Product Type);
- наименования наземного сегмента обработки (Processing Centre);
- идентификатора спутника (Satellite ID);
- номера орбиты (Orbit Number);
- наименования файла выходного продукта (Product Filename) и т.п.

Все метаданные представляются параметрами в составе той или иной группы, либо подгруппы. Запись параметра в MATLAB осуществляется функцией *h5writeatt()*, где в качестве аргументов указываются путь в структуре HDF файла, название параметра и его значение.

На втором этапе записываются:

– базовые метаданные, содержащие набор угловых точек для выполнения географической привязки РЛИ, которые описываются параметрами Bottom Left Geodetic Coordinates, Bottom Right Geodetic Coordinates, Top Left Geodetic Coordinates, Top Right Geodetic Coordinates и задают края области сцены съемки;

- значения, которые описывают масштаб сцены;
- интервал между соседними столбцами РЛИ;
- интервал между соседними строками РЛИ;
- информация о времени начала и конца генерации продукта;
- время получения первых и последних строк и столбцов РЛИ (листинг 3).

Листинг 3. – Программный код записи базового набора метаданных

```
1. h5writeatt(filenameFin, '/', 'Scene Orientation', DDD.Children(6).Children(12).Children(26).Children.Data );
2. h5writeatt(filenameFin, '/', 'Scene Centre Geodetic Coordinates',
   [str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(14).Children(6).Children.Data);
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(14).Children(8).Children.Data);0]);
3. h5writeatt(filenameFin, '/', 'Scene Centre Geodetic Coordinates',
   [str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(14).Children(6).Children.Data);
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(14).Children(8).Children.Data);0]);
4. h5writeatt(filenameFin, '/S01', 'Centre Geodetic Coordinates',
   [str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(14).Children(6).Children.Data);
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(14).Children(8).Children.Data);0]);
5. h5writeatt(filenameFin, '/S01/SBI', 'Bottom Left Geodetic Coordinates',
   [str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(22).Children(6).Children.Data);
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(22).Children(8).Children.Data);0]);
6. h5writeatt(filenameFin, '/S01/SBI', 'Bottom Right Geodetic Coordinates',
   [str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(24).Children(6).Children.Data);
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(24).Children(8).Children.Data);0]);
7. h5writeatt(filenameFin, '/S01/SBI', 'Top Left Geodetic Coordinates',
   [str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(18).Children(6).Children.Data);
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(18).Children(8).Children.Data);0]);
8. h5writeatt(filenameFin, '/S01/SBI', 'Top Right Geodetic Coordinates',
   [str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(20).Children(6).Children.Data);
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(20).Children(8).Children.Data);0]);
9. h5writeatt(filenameFin, '/S01/SBI', 'Column Spacing', str2num(DDD.Children(6).Children(10).Children(18).Children(8).Children.Data));
10. h5writeatt(filenameFin, '/S01/SBI', 'Line Spacing', str2num(DDD.Children(6).Children(10).Children(18).Children(6).Children.Data));
11. h5writeatt(filenameFin, '/S01/SBI', 'Near Incidence Angle',
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(18).Children(14).Children.Data));
12. h5writeatt(filenameFin, '/S01/SBI', 'Far Incidence Angle',
   str2num(DDD.Children(6).Children(12).Children(20).Children(14).Children.Data));
```

На третьем этапе осуществляется запись дополнительных метаданных, которые представляют собой описание орбитальных векторов в системе Earth-centered inertial (ECI) и доплеровских коэффициентов, сформированных в виде массива коэффициентов степенных полиномов, аппроксимирующих зарегистрированные и полученные расчетным путем данные доплеровских частот.

Результаты моделирования. Итогом проведенного моделирования является сформированный файл в формате HDF5, представляющий метаданные и сфокусированное РЛИ спутниковой системы TerraSAR-X. Правильность принятых решений по преобразованию форматов оценивалась с использованием ПО NEST 5.1 [5], обеспечивающего обработку радиолокационных данных (изображений) и их визуализацию, представленную различными уровнями их обработки. На рисунке 2 показан пример открытого в приложении NEST 5.1 выходного продукта TerraSAR-X. На рисунке 3 представлен выходной продукт TerraSAR-X, преобразованный в формат HDF5 без коррекции зеркального отображения.

Для оценки правильности структуры выходного продукта TerraSAR-X, сформированной в формате HDF5, выполнена геометрическая коррекция содержащихся в продукте радиолокационных данных. Геометрическая коррекция осуществлена путем перерасчета значений РЛИ для представления их в системе WGS84 с наложением обрабатываемого изображения на географическую карту мира. Реализация такой

функции основывается на использовании метаданных об угловых точках, т.е. координатах углов сцены съемки. Данная функция корректирует изображение и обеспечивает привязку РЛИ к координатам на географической карте Земли (рисунок 4).

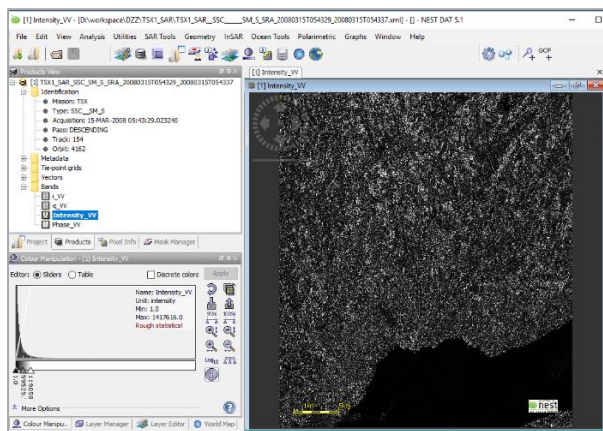


Рисунок 2. – Выходной продукт TerraSAR-X открытый в приложении NEST 5.1

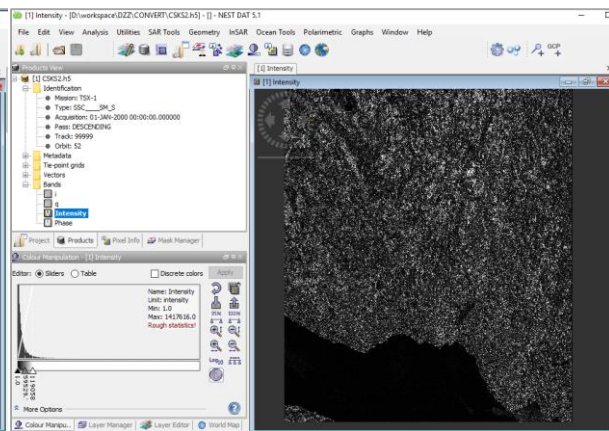


Рисунок 3. – Преобразованный выходной продукт TerraSAR-X в формат HDF5 без коррекции зеркального отображения

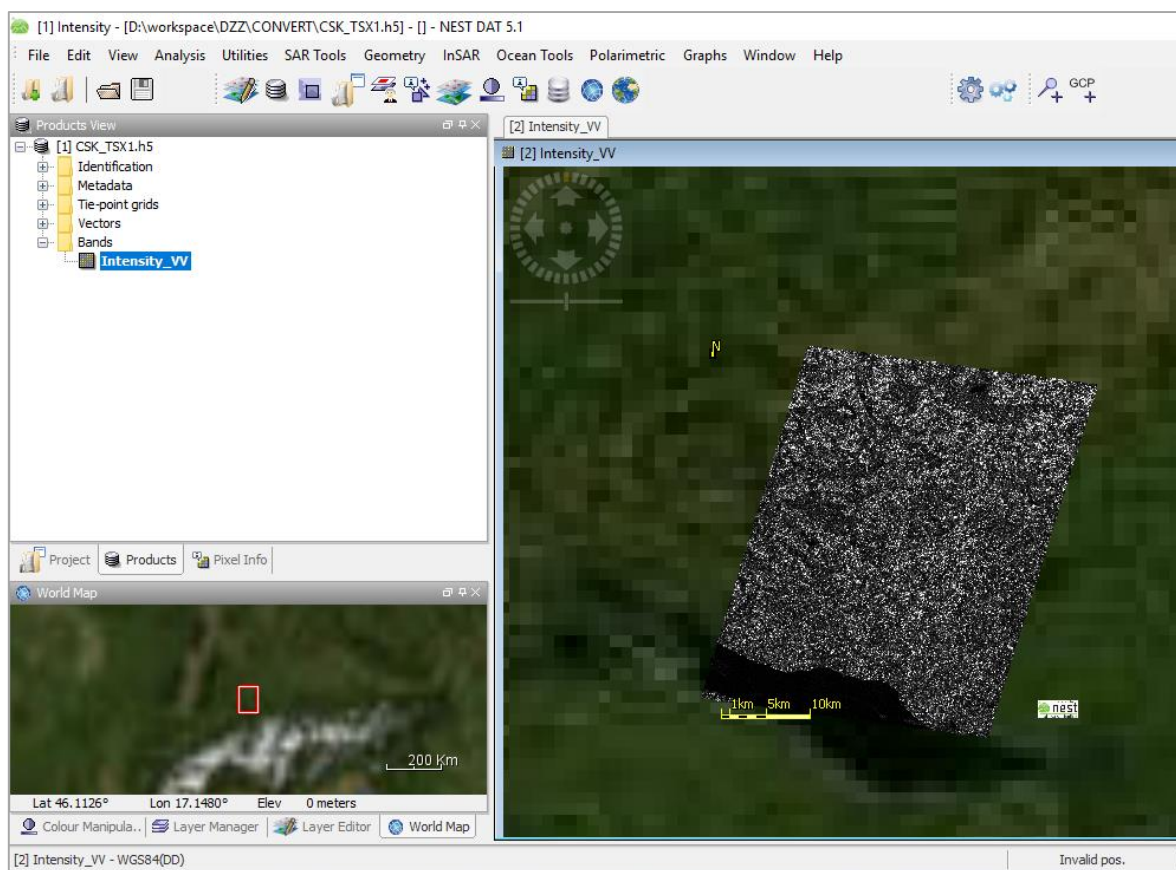


Рисунок 4. – Геометрически привязанное к земной поверхности РЛИ, преобразованное в HDF5 формат

Заключение. В результате анализа структурной организации метаданных выходных продуктов спутниковых систем TerraSAR-X и COSMO-SkyMed установлено, что они имеют схожую структуру и в незначительной мере отличаются набором данных, которые зависят от применяемых методов и алгоритмов оценки доплеровских коэффициентов, а также радиометрической и геометрической коррекции, что

обеспечивает возможность преобразования формата представления радиолокационных данных выходного продукта TerraSAR-X в современный формат HDF5, поддерживаемый COSMO-SkyMed. Синтезирован и реализован алгоритм преобразования метаданных и данных РЛИ в формат HDF5 с использованием приложения MATLAB. Результаты моделирования выходного продукта спутника TerraSAR-X, сформированного в виде единого HDF-файла, и его тематическая обработка в приложении NEST 5.1 путем геометрической коррекции РЛИ, с учетом метаданных, подтверждают правильность решений, принятых при реализации алгоритмов преобразования метаданных и радиолокационных данных. Следовательно, формат HDF5 может быть использован в качестве универсального формата представления радиолокационных данных от спутниковых систем ДЗЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никольский, Д.Б. Уровни обработки радиолокационных данных / Д.Б. Никольский // Геоматика. – 2008. – № 1. – С. 25–36.
2. Самые точные и детальные геопространственные данные. TerraSAR-X, TanDEM-X [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://innoter.com/satellites/931>. – Дата доступа: 05.08.2019.
3. Лукьянов, А.О. Особенности представления радиолокационных данных группой спутников COSMO-SkyMed в формате HDF5 / А.О. Лукьянов, Р.П. Богуш // ИНФОРМАТИКА: ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДОЛОГИЯ, ТЕХНОЛОГИИ : материалы XVII Междунар. науч.-метод. конф., Воронеж, 9–10 февр. 2017 г., / ООО «Вэлборн». – Воронеж, 2017. – С. 42–47.
4. Чертков, В.М. Особенности структуры и формата представления радиолокационных данных спутником TerraSAR-X / В.М. Чертков, Р.П. Богуш, Н.М. Наумович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2017. – № 4. – С. 21–27.
5. Chertkov, V.M. Application of algorithm for radar image processing in third-party software / V.M. Chertkov, Y. Bogomolova // European and National dimension in research : materials of junior researchers' conference, Novopolotsk, April 27–28, 2016 : 3 p. / Polotsk State University ; ed. D. Lazouski [et al.]. – Novopolotsk, 2016. – P. 3 : Technology. – P. 205–208.

Поступила 20.09.2019

TERRASAR-X PRODUCT CONVERSION TO HDF5 FORMAT

V. CHERTKOV, R. BOHUSH, N. NAUMOVICH

Considers the features of the conversion of the main and auxiliary data of the TerraSAR-X satellite into the format for presenting the HDF5 output data of the COSMO-SkyMed satellite. The transformation algorithm is synthesized and described using MATLAB.

Keywords: radar image, HDF5 format, TerraSAR-X, COSMO SkyMed.